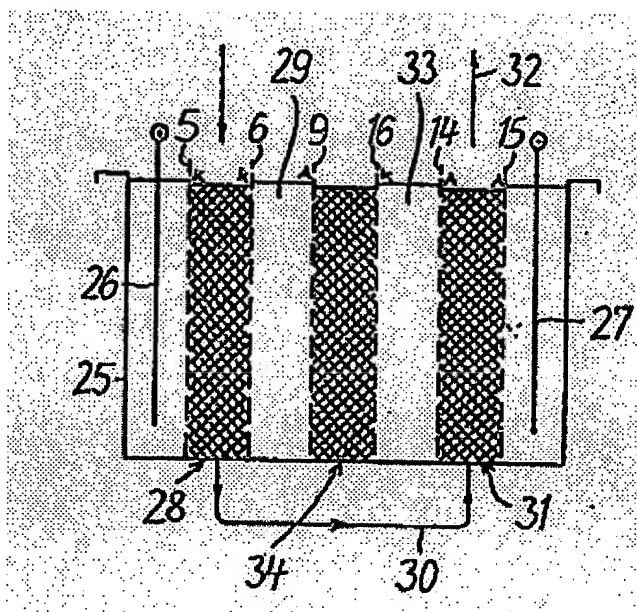


Process for desalting solutions

Patent number: DE3238280
Publication date: 1984-04-19
Inventor: LIEBER HANS-WILHELM PROF DR IN [DE]
Applicant: LIEBER HANS WILHELM PROF DR IN
Classification:
- **International:** B01D13/02; C02F1/46
- **European:** B01D61/48; B01J47/08; C02F1/469
Application number: DE19823238280 19821015
Priority number(s): DE19823238280 19821015

Abstract of DE3238280

A process for desalting solutions with use of an electrodialysis cell (25) is described. The solutions are first introduced into a chamber (28) of the cell (25), said chamber being delimited by two cation exchanger membranes (5, 6) and filled with ion exchanger material, and the solutions are then passed to another chamber (31) likewise filled with ion exchanger material, which is delimited by two anion exchanger membranes (14, 15). Next to each of the first two chambers (28, 31), other chambers (29, 33) are provided, which are delimited on the sides away from the first chambers (28, 31) by membranes (9, 16) differing with respect to selective permeability from the membranes of the first chambers (28, 31) and which are filled with liquids, which prevent the formation of sparingly soluble products.



BEST AVAILABLE COPY



DEUTSCHES
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 32 38 280.4
22 Anmeldetag: 15. 10. 82
43 Offenlegungstag: 19. 4. 84

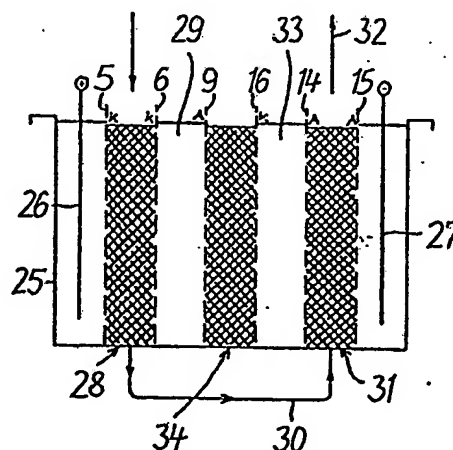
DE 3238280 A1

71 Anmelder:
Lieber, Hans-Wilhelm, Prof. Dr.-Ing., 1000 Berlin, DE

72 Erfinder:
gleich Anmelder

54 Verfahren zum Entsalzen von Lösungen

Es wird ein Verfahren zum Entsalzen von Lösungen unter Verwendung einer Elektrodialysezelle (25) angegeben. Die Lösungen werden dazu zunächst einer durch zwei Kationenaustauschermembranen (5, 6) begrenzten und mit Ionenaustauschermaterial gefüllten Kammer (28) der Zelle (25) aufgegeben und anschließend einer ebenfalls mit Ionenaustauschermaterial gefüllten anderen Kammer (31) zugeleitet, welche von zwei Anionenaustauschermembranen (14, 15) begrenzt ist. Jeweils neben den beiden ersten Kammern (28, 31) sind weitere Kammern (29, 33) vorhanden, die auf den den ersten Kammern (28, 31) abgewandten Seiten von gegenüber den Membranen dieser Kammern (28, 31) ungleichnamigen permselektiven Membranen (9, 16) begrenzt und mit Flüssigkeiten gefüllt sind, die die Entstehung von schwerlöslichen Produkten verhindern.



DE 3238280 A1

ORIGINAL INSPECTED



15.10.82

3238290

Professor Dr.-Ing. Hans-Wilhelm Lieber

KL 6

13. Okt. 1982

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entsalzen von Lösungen, bei welchem die Lösungen durch Elektrodialysezellen geleitet werden, die durch permselektive Membranen in Kammern unterteilt sind, von denen
5 die durch die Membranen begrenzten Kammern Ionenaustauschermaterial enthalten, und die mindestens eine Anode und mindestens eine Kathode aufweisen,
dadurch gekennzeichnet,
- daß die Lösungen zunächst durch eine von zwei Kationenaustauschermembranen (5,6) begrenzte und mit Ionenaustauschermaterial (8) gefüllte Kammer (7) einer ersten Elektrodialysezelle (1) hindurchgeleitet werden,
10 - daß die aus dieser Kammer (7) der ersten Elektrodialysezelle (1) austretenden Lösungen danach durch eine von zwei Anionenaustauschermembranen (14,15) begrenzte und mit
15 Ionenaustauschermaterial (20) gefüllte Kammer (19) einer zweiten Elektrodialysezelle (13) hindurchgeleitet werden,
- daß in der ersten Elektrodialysezelle (1) außerhalb der mit Ionenaustauschermaterial (8) gefüllten Kammer (7) mit Ab-

X

- stand zu derselben auf der der Kathode (3) zugewandten Seite zusätzlich eine Anionenaustauschermembran (9) angeordnet wird,
- daß in der zweiten Elektrodialysezelle (13) außerhalb der mit Ionenaustauschermaterial (20) gefüllten Kammer (19) mit Abstand zu derselben auf der der Anode (17) zugewandten Seite zusätzlich eine Kationenaustauschermembran (16) angeordnet wird,
 - daß die beiden Elektroden (2,3) außerhalb der durch die Membranen begrenzten Kammern angeordnet werden,
 - und daß in die die Elektroden (2,3) enthaltenden Kammern und in die jeweils von einer Kationenaustauschermembran (16) und einer Anionenaustauschermembran (9) begrenzten Kammern das Entstehen von schwerlöslichen Verbindungen verhindernde Flüssigkeiten eingebracht werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Membrananordnungen der ersten Elektrodialysezelle (1) und der zweiten Elektrodialysezelle (13) in einer gemeinsamen Elektridialysezelle (25,35) kombiniert werden.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in der gemeinsamen Elektrodialysezelle (25) eine Anode (26) und eine Kathode (27) verwendet werden, und daß in der zwischen der einzelnen Anionenaustauschermembran (9) und der ihr benachbarten einzelnen Kationenaustauschermembran (16) liegenden Kammer (34) entsalztes Wasser oder eine andere salzarme Flüssigkeit sowie Ionenaustauschermaterial angeordnet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß in der gemeinsamen Elektrodialysezelle (35) zwei Elektrodenpaare (36,37,28,39) angeordnet werden, die über getrennte Gleichrichter (40,41) separat mit Strom versorgt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Ionenaustauschermaterial jeweils lose Granulatschüttungen verwendet werden.



6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Entsalzung bei erhöhter Temperatur durchgeführt wird.
- 5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in den mit Ionenaustauschermaterial gefüllten Kammern, denen die zu entsalzenden Lösungen aufgegeben werden, in der Nähe der einen diese Kammern begrenzenden Membran zusätzlich ein Diaphragma (46,47) angeordnet wird.

X

Professor Dr.-Ing. Hans-Wilhelm Lieber

KL 6

13. Okt. 1982

Verfahren zum Entsalzen von Lösungen

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Entsalzen von Lösungen, bei welchem die Lösungen durch Elektrodialysezellen geleitet werden, die durch permselektive Membranen in Kammern
5 unterteilt sind, von denen die durch die Membranen begrenzten Kammern Ionenaustauschermaterial enthalten, und die mindestens eine Anode und mindestens eine Kathode aufweisen.

Zum Entsalzen von Lösungen werden heute überwiegend Ionenaustauschverfahren eingesetzt. Mit diesen Verfahren soll beispiels-
10 weise enthärtetes, teilentsalztes oder vollentsalztes Wasser erhalten werden, wie es z. B. in der Lebensmittelindustrie, für die Dampferzeugung, in der Kerntechnik, in vielen Zweigen der Rohstoffe verarbeitenden Industrie sowie in der Chemie in großen Mengen und in unterschiedlicher Güte benötigt wird.

15 Ionenaustauscher werden unterschieden in Kationenaustauscher und Anionenaustauscher. Je nach Aufgabe gibt es dabei schwach oder stark saure Kationenaustauscher und schwach oder stark

basische Anionenaustauscher. Die Ionenaustauscher bestehen im wesentlichen aus Austauschermaterial, wie beispielsweise Harzen. Sie nehmen Ionen aus den ihnen aufgegebenen Lösungen auf und geben dafür eine äquivalente Menge gleichsinnig geladener Gegen-
5 Ionen ab. Wenn die Aufnahmefähigkeit des Austauschermaterials erschöpft ist, muß dasselbe regeneriert werden.

Eine andere Möglichkeit zum Entsalzen von Lösungen ist durch die Elektrodialyse gegeben, bei welcher Zellen verwendet werden, in denen permselektive Membranen eingesetzt sind. Die Elektrodialyse
10 unterscheidet sich vom oben geschilderten Ionenaustauschverfahren vor allem dadurch, daß keine Regeneration erforderlich ist, weil die Trennung der Ionen stetig allein durch das elektrische Feld erfolgt. Die Ionenaustauscher müssen hingegen unter Verwendung von Regenerierchemikalien, z. B. Salzsäure und Natron-
15 lauge, regeneriert werden, sobald ihre Austauscherkapazität erschöpft ist.

Ein Verfahren mit Elektrodialysezelle, wie es eingangs beschrieben ist, geht beispielsweise aus der US-PS 3,084,113 hervor. Im einfachsten Fall ist die bei diesem bekannten Ver-
20 fahren verwendete Elektrodialysezelle durch eine Kationenaustauschermembran und eine Anionenaustauschermembran in drei Kammern unterteilt. Zur Durchführung des Verfahrens wird der mittleren, mit Ionenaustauschermaterial gefüllten Kammer eine salzhaltige Lösung zugeführt. Durch die Elektrodialyse werden
25 die Kationen durch die Kationenaustauschermembran hindurch in den Kathodenraum transportiert, und die Anionen wandern durch die Anionenaustauschermembran hindurch in den Anodenraum. Auf diese Weise nimmt der Salzgehalt in der mittleren Kammer ab. Um zu vermeiden, daß der elektrische Widerstand der mittleren
30 Kammer mit zunehmender Entsalzung der Lösung zu stark ansteigt, enthält die Kammer das Ionenaustauschermaterial.

Die elektrodialytisch getrennten Ionen gelangen bei diesem bekannten Verfahren aus der mittleren Kammer in die Elektrodenräume, so daß dort unerwünschte Redoxreaktionen stattfinden. Es
35 können insbesondere schwerlösliche Fällungsprodukte entstehen,

- 0200200
- durch welche die Durchlässigkeit der Membranen behindert wird. Weiterhin würde eine kathodische Metallabscheidung nach kurzer Zeit eine Entnahme des Metalls aus dem Kathodenraum notwendig machen, wobei das Verfahren unterbrochen werden müßte. Eine
- 5 anodische Entwicklung von giftigen Gasen, wie beispielsweise Chlorgas, hätte eine unzulässige Belastung der Umwelt zur Folge. Durch eine aus der US-PS 3,084,113 ebenfalls bekannte abwechselnde Mehrfachanordnung von Kationen- und Anionenaustauschermembranen in einer Zelle können diese Nachteile nicht
- 10 umgangen werden. Hinzu kommt in diesem Fall, daß in den Kammern, in denen sich die Ionen anreichern, die Gefahr der Ausfällung von schwerlöslichen chemischen Verbindungen besteht, was die Durchlässigkeit der Membranen für die Ionen beeinträchtigen würde.
- 15 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Elektrodialyseverfahren zum Entsalzen von Lösungen anzugeben, bei dem unerwünschte Redoxreaktionen an den Elektroden vermieden werden und bei dem die Durchlässigkeit der Membranen beeinträchtigende Fällungsprodukte nicht entstehen können.
- 20 Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs geschilderten Art gemäß der Erfindung dadurch gelöst,
- daß die Lösungen zunächst durch eine von zwei Kationenaustauschermembranen begrenzte und mit Ionenaustauschermaterial gefüllte Kammer einer ersten Elektrodialysezelle hindurchge-

25 leitet werden,

 - daß die aus dieser Kammer der ersten Elektrodialysezelle austretenden Lösungen danach durch eine von zwei Anionenaustauschermembranen begrenzte und mit Ionenaustauschermaterial gefüllte Kammer einer zweiten Elektrodialysezelle hindurch-

30 geleitet werden,

 - daß in der ersten Elektrodialysezelle außerhalb der mit Ionenaustauschermaterial gefüllten Kammer mit Abstand zu derselben auf der der Kathode zugewandten Seite zusätzlich eine Anionenaustauschermembran angeordnet wird,

35 - daß in der zweiten Elektrodialysezelle außerhalb der mit Ionenaustauschermaterial gefüllten Kammer mit Abstand zu



- derselben auf der der Anode zugewandten Seite zusätzlich eine Kationenaustauschermembran angeordnet wird,
- daß die beiden Elektroden außerhalb der durch die Membranen begrenzten Kammern angeordnet werden,
 - 5 - und daß in die die Elektroden enthaltenden Kammern und in die jeweils von einer Kationenaustauschermembran und einer Anionenaustauschermembran begrenzten Kammern das Entstehen von schwerlöslichen Verbindungen verhindernde Flüssigkeiten eingebracht werden.
- 10 Die zu entsalzenden Lösungen werden bei diesem Verfahren Kammern der Elektrodialysezellen aufgegeben, die von gleichartigen Membranen begrenzt sind. Durch die zusätzliche Anordnung von jeweils einer andersartigen Membran zwischen der mit Ionenaustauschermaterial gefüllten Kammer und der entgegengesetzt ge-
- 15 polten Elektrode ist mit diesem Verfahren sichergestellt, daß die in der Kammer abgetrennten Ionen nicht zu dieser Elektrode gelangen können. Unerwünschte Redoxreaktionen sind auf diese Weise mit Sicherheit vermieden. Da außerdem sowohl die die Elektroden enthaltenden Kammern als auch die von ungleichnamigen
- 20 Membranen begrenzten Kammern Flüssigkeiten enthalten, die keine Fällungsprodukte entstehen lassen, ist die einwandfreie Durchlässigkeit der Membranen gewährleistet. Durch die Erfindung ist somit ein Elektrodialyseverfahren angegeben, das einen kontinuierlichen und störungsfreien Betrieb sicherstellt. Wenn die zu
- 25 entsalzenden Lösungen die beiden gefüllten Kammern der beiden Elektrodialysezellen durchlaufen haben, dann tritt aus der Kammer der zweiten Zelle entsalztes Wasser aus, das dem jeweiligen Verwendungszweck unmittelbar zugeführt werden kann.
- Durch den Einsatz geeigneter permselektiver Membranen und die
- 30 Verwendung von geeigneten Flüssigkeiten in den Kammern der Elektroden und in den von ungleichnamigen Membranen begrenzten Kammern ist dieses Verfahren universell zur Entsalzung aller möglichen Lösungen einsetzbar. Es können dementsprechend problemlos sowohl neutrale als auch saure bzw. alkalische
- 35 Lösungen behandelt werden.



Der Stofftransport an der Phasengrenze der permselektiven Membranen ist dann intensiver, wenn die Dicke der Diffusionsgrenzschicht durch erzwungene Konvektion in Verbindung mit Verwirbelungen herabgesetzt wird. Das läßt sich bei entsprechenden Strömungsgeschwindigkeit der Lösungen erreichen, wenn als Ionenaustauschermaterial in den entsprechenden Kammern lose Schüttungen aus Harzgranulat eingesetzt werden. Dadurch verringert sich die Polarisierung an den Membranoberflächen, so daß höhere Stromdichten anwendbar sind und der Verbrauch an elektrischer Energie dennoch niedrig bleibt.

Im gleichen Sinne wirkt eine Erhöhung der Temperatur des gesamten Systems (Flüssigkeiten, Ionenaustauschermaterial, Membranen), die sowohl durch Joulesche Erwärmung als auch durch zusätzliche Wärmezufuhr bewirkt werden kann. Da eine Erwärmung um 1°C einen Anstieg der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit um etwa 3 % zur Folge hat, läßt sich die Arbeitsweise des Verfahrens durch eine Erwärmung auf beispielsweise 60°C deutlich verbessern. Hierbei kann sich auch die leichtere Löslichkeit von Salzen bei höherer Temperatur günstig auswirken. Der Wärmehaushalt der Flüssigkeiten läßt sich mit Hilfe von Gegenstromwärmetauschern optimal einstellen.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind die beiden Elektrodialysezellen in einer gemeinsamen Zelle zusammengefaßt, wobei auch in dieser Ausführungsform nur jeweils eine Anode und eine Kathode benötigt werden. In diesem Fall kann zwischen den beiden Zellenteilen eine von permselektiven Membranen begrenzte Kammer vorgesehen sein, in der entsalztes Wasser oder eine salzarme Flüssigkeit sowie Ionenaustauschermaterial vorhanden sind.

In weiterer Ausgestaltung des Verfahrens ist es außerdem möglich, in einer Elektrodialysezelle jeweils mehrere Einheiten parallel nebeneinander anzuordnen, die jeweils der ersten oder der zweiten Elektrodialysezelle entsprechen.

Das Verfahren nach der Erfindung wird anhand der Zeichnungen in Ausführungsbeispielen erläutert.



In der folgenden Beschreibung wird der Einfachheit halber statt des Wortes "Elektrodialysezelle" stets das Wort "Zelle" verwendet.

Es zeigen:

- 5 Fig. 1 eine Zelle mit zwei Kationenaustauschermembranen und einer Anionenaustauschermembran.
Fig. 2 eine Vielfachanordnung der Membranen der Zelle nach Fig. 1
Fig. 3 eine Zelle mit zwei Anionenaustauschermembranen und einer Kationenaustauschermembran.
10 Fig. 4 eine Vielfachanordnung der Membranen der Zelle nach Fig. 3
Fig. 5 eine aus den Zellen nach Fig. 1 und Fig. 3 kombinierte Zelle.
Fig. 6 eine gegenüber Fig. 5 abgewandelte kombinierte Zelle.
Fig. 7 und 8 ergänzte Ausführungsformen der Zellen nach den
15 Fig. 1 und 3.

Für die Abtrennung von Kationen wird eine erste Zelle 1 gewählt, wie sie in Fig. 1 schematisch dargestellt ist. In den beiden äußeren Kammern dieser Zelle befinden sich z. B. Bleigitter als Anode 2 und Kathode 3, die in Schwefelsäure tauchen. Die von
20 zwei Kationenaustauschermembranen 5 und 6 begrenzte Kammer 7 ist mit Ionenaustauschermaterial 8 gefüllt. Zwischen der Kammer 7 und der Kathode 3 ist - mit Abstand zu beiden - eine Anionenaustauschermembran 9 angeordnet. Der Kammer 7 wird eine zu entsalzende Lösung aufgegeben (Pfeil 10). Die Kationen
25 wandern in die von der Kationenaustauschermembran 6 und der Anionenaustauschermembran 9 begrenzte Kammer 11. In dieser Kammer befindet sich eine Lösung, z. B. verdünnte Schwefelsäure, deren pH-Wert so eingestellt ist, daß keine Hydroxidfällung auftritt. Um den elektrischen Widerstand in der Kammer 11
30 herabzusetzen, kann sie ebenfalls mit Ionenaustauschermaterial gefüllt werden.

Zur Beschleunigung des Verfahrens bzw. zur Entsalzung größerer Volumina an Lösungen können entsprechend Fig. 2 mehrere Anordnungen nach Fig. 1 in einer gemeinsamen Zelle 12 angeordnet
35 werden. Auch bei dieser Mehrfachanordnung werden nur jeweils eine Anode 2 und eine Kathode 3 benötigt.

Für die Abtrennung von Anionen wird eine zweite Zelle 13 verwendet, die in Fig. 3 schematisch dargestellt ist. Diese Zelle enthält zwei Anionenaustauschermembranen 14 und 15 und eine Kationenaustauschermembran 16. In den beiden äußeren Kammern 5 der Zelle 13 befinden sich z. B. eine Anode 17 und eine Kathode 18 aus Stahl-Streckmetall, die in Natronlauge tauchen. In der von den Anionenaustauschermembranen 14 und 15 begrenzten Kammer 19 befindet sich Ionenaustauschermaterial 20. Die von der Anionenaustauschermembran 14 und der Kationenaustauschermembran 16 begrenzte Kammer 21 kann zur Verringerung des elektrischen Widerstandes ebenfalls mit Ionenaustauschermaterial gefüllt sein. In der Kammer 13 befindet sich außerdem beispielsweise eine schwache Lauge, z. B. verdünnte Natronlauge, um die Bildung schwerlöslicher Verbindungen zu vermeiden.

15 Wenn mehrere Anordnungen der Zelle 13 entsprechend der Darstellung in Fig. 4 in einer gemeinsamen Zelle 22 parallel betrieben werden, sind wieder nur in den Endkammern Elektroden (Anode 17 und Kathode 18) erforderlich.

Die aus der Kammer 7 der Zelle 1 austretende Lösung kann entsprechend dem Pfeil 23 der Kammer 19 der Zelle 13 aufgegeben werden, aus welcher dann entsprechend dem Pfeil 24 eine entsalzte Lösung austritt.

Die Arbeitsweise mit zwei getrennten Zellen 1 und 13 kann dadurch vereinfacht werden, daß eine Zelle 25 gemäß Fig. 5 verwendet wird, in der die Membranen dieser beiden Zellen kombiniert sind:

Die Zelle 25 nach Fig. 5 besteht aus sieben Kammern, die jeweils durch permselektive Membranen getrennt sind, wobei die Bezeichnung der Membranen aus den Fig. 1 und 3 beibehalten wird. Die 30 beiden äußeren Kammern enthalten eine Anode 26, die z. B. in Schwefelsäure taucht, und eine Kathode 27, die sich z. B. in Natronlauge befindet. Die zu entsalzende Lösung wird der von den beiden benachbarten Kationenaustauschermembranen 5 und 6 begrenzten Kammer 28 aufgegeben, und die Kationen, z. B. Na^+ , Ca^{2+} ,

Mg²⁺ usw., wandern in die rechts daneben befindliche Kammer 29, aus der sie in einem Wasserteilstrom abgezogen werden können.

Das entgaste Wasser tritt aus der Kammer 28, wie durch die Pfeillinie 30 angedeutet, in die von den beiden benachbarten Anionenaustauschermembranen 14 und 15 begrenzte Kammer 31 ein, die es entsalzt verläßt (Pfeil 32). Die Anionen treten durch die Anionenaustauschermembran 14 hindurch in die links angrenzende Kammer 33 über, aus der sie, wie die Kationen, durch einen Wasserteilstrom abgezogen werden können. Wie schon für die Zellen nach den Fig. 1 und 3 geschildert, ist in den Kammern 28 und 31 Ionenaustauschermaterial angeordnet. Auch in den Kammern 29 und 33 kann derartiges Material angebracht werden.

Die mit Kationen und Anionen angereicherten Lösungen dürfen sich in der Zelle 25 natürlich nicht vermischen, weil sonst Fällungsprodukte entstehen würden, durch die die Membrandurchlässigkeit beeinträchtigt würde. Deshalb ist zwischen den Kammern 29 und 33, in denen sich die Kationen bzw. Anionen anreichern, eine Kammer 34 mit entsalztem Wasser oder einer anderen, salzarmen Flüssigkeit vorgesehen, die von einer Anionenaustauschermembran 9 und einer Kationenaustauschermembran 16 begrenzt ist, und deren elektrischer Widerstand durch eine Füllung mit Ionenaustauschermaterial niedrig gehalten wird.

Besondere Maßnahmen können bei der elektrodialytischen Entsalzung wäßriger Lösungen erforderlich sein, wenn saure oder alkalische Lösungen vorliegen bzw. wenn Abwässer zu entsalzen sind, deren Salzgehalt und pH-Wert häufig innerhalb weiter Grenzen schwanken können. Aus alkalischen Lösungen sind z. B. im wesentlichen Kationen zu entfernen. Deshalb erfordern die Kationen einen höheren Teilstrom als die Anionen. Zur Lösung dieses Problems können zwei Zellen, wie sie in Fig. 1 und Fig. 3 dargestellt sind, entsprechend Fig. 6 zu einer Doppelle zelle 35 miteinander kombiniert werden. Auch hier sind für die Membranen die gleichen Bezugszeichen wie in den Fig. 1 und 3 verwendet. Im Gegensatz zur Ausführungsform nach Fig. 5 sind hier zwei Elektrodenanordnungen erforderlich, mit den Anoden 36 und 37 und den Kathoden 38 und 39, die über Gleichrichter



40 und 41 mit Strom versorgt werden. Dadurch lassen sich die Ströme, mit denen die Kationen bzw. Anionen elektrodialytisch aus einer Lösung abgetrennt werden, separat einstellen. Die zu entsalzende Lösung wird hier der Kammer 42 aufgegeben und von 5 dort zur Kammer 43 geleitet, die beide wieder mit Ionenaustauschermaterial gefüllt sind.

Die in Fig. 6 dargestellte Doppelzelle 35 kann wieder aus einer Vielzahl von Einzelzellen bestehen, wie es für die Zellen nach Fig. 1 und 3 in Fig. 2 und 4 dargestellt ist.

10 Da die Kationen bei der Elektrodialyse unter dem Einfluß des elektrischen Feldes zur Kathode und die Anionen zur Anode wandern, kann es vorteilhaft sein, diese Bewegungen durch asymmetrische Aufgabe der Lösungen zu verkürzen. Entsprechende Zellen 44 und 45 sind in den Fig. 7 und 8 schematisch dar-
15 stellt. Sie haben in den jeweiligen Kammern neben den Membranen zusätzlich ein Diaphragma 46 bzw. 47.

Eine weitere Maßnahme, um Lösungen mit schwankendem Salzgehalt und pH-Wert zu entsalzen, besteht darin, daß man einer Zelle 25 gemäß Fig. 5 Zellen 1 und 13 gemäß Fig. 1 und Fig. 3 vorschaltet
20 und deren Elektrodialyseströme entsprechend dem pH-Wert und der Salzkonzentration automatisch einstellt. Auf diese Weise wird ein Großteil der Kationen bzw. Anionen vorsepariert, und die Zelle 25 entsprechend Fig. 5 übernimmt die Funktion einer Feinreinigung. Selbstverständlich läßt sich die Reihenfolge der
25 Zellen aber auch ändern.

Das Verfahren kann in allen Fällen, egal ob mit getrennten Zellen 1 und 13 oder gemeinsamen Zellen 25 und 35 gearbeitet wird, auch bei erhöhter Temperatur durchgeführt werden. Hierzu kann die dann nicht abzuführende Joulesche Wärme des Systems
30 ausgenutzt werden. Es ist jedoch auch möglich, durch Beheizung Wärme von außen zuzuführen, wobei die Art der Beheizung beliebig ist. Zur optimalen Einstellung des Wärmehaushalts der Flüssigkeiten lassen sich auch an sich bekannte Gegenstromwärmetauscher einsetzen.

Für die Füllung der Kammern mit Ionenaustauschermaterial werden zweckmäßig lose Schüttungen aus Harzgranulat eingesetzt. Durch die Umströmung der Harzpartikel entstehen dabei, auch an den Membranoberflächen, Verwirbelungen innerhalb der Flüssigkeit.
5 Hierdurch läßt sich insbesondere die Dicke der Diffusionsgrenzschicht an den Membranen vorteilhaft verringern.

Das Verfahren nach der Erfindung ist im Vorangehenden zum Entsalzen von Lösungen beschrieben worden, bei denen sowohl Kationen als auch Anionen abzutrennen sind. Der Begriff "Entsalzen" umfaßt für den Fachmann auch die Behandlung von Basen und Laugen, aus denen entweder nur Kationen oder nur Anionen zu entfernen sind. Auch für diese Anwendungsfälle soll das Verfahren nach der Erfindung gelten, wobei dann jeweils nur eine der Zellen 1 oder 13 bzw. nur eine der Zellen 12 oder 22 be-
15 nötig werden.

X

- 14 -
Leerseite

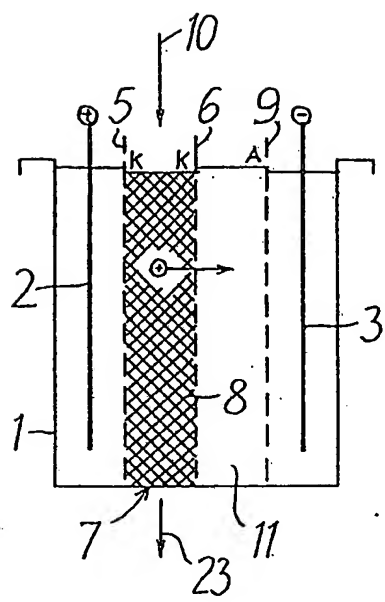


Fig. 1

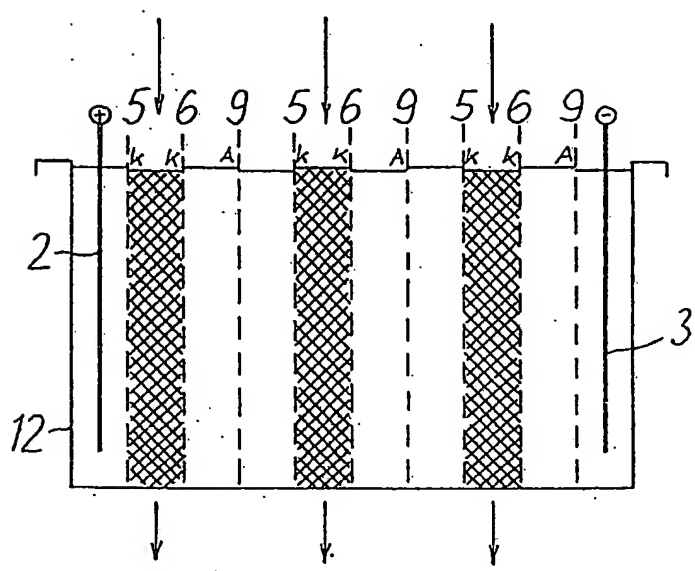


Fig. 2

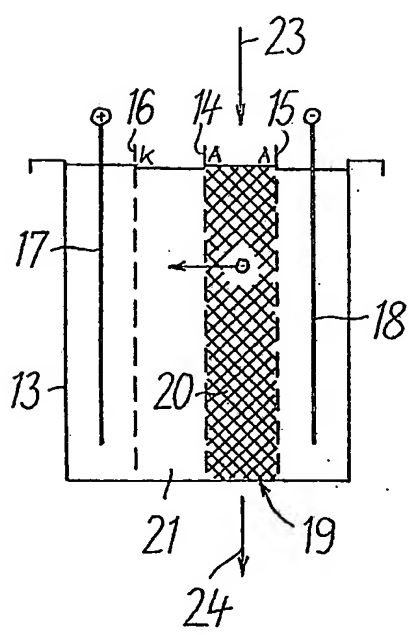


Fig. 3

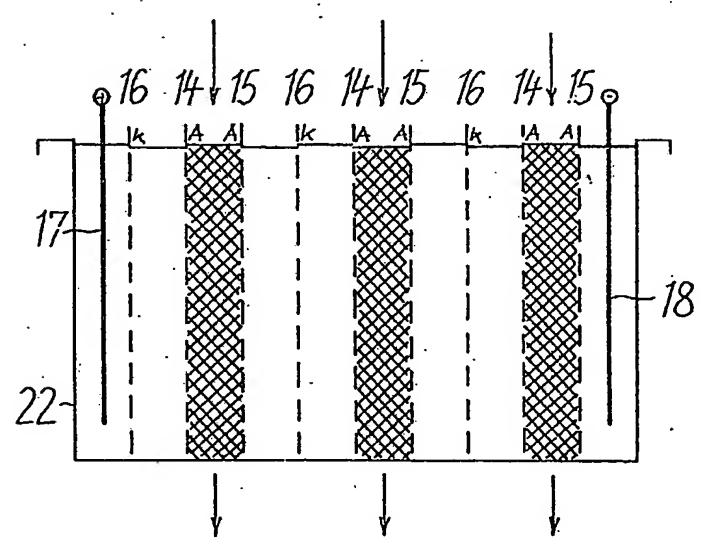


Fig. 4

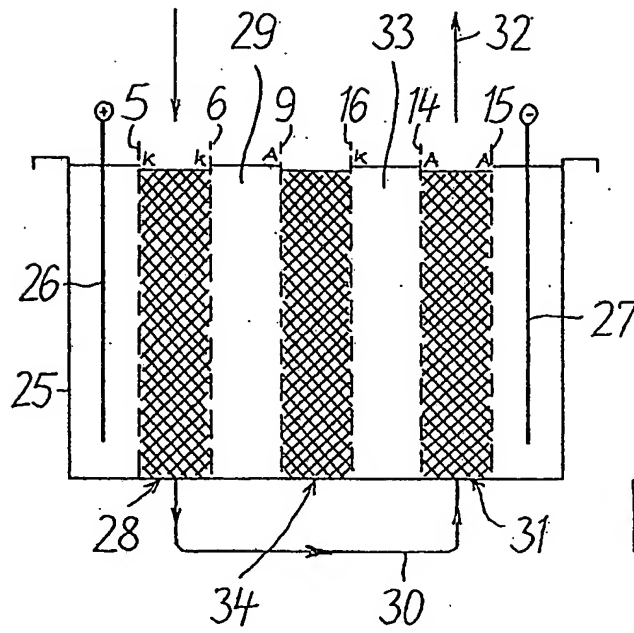


Fig. 5

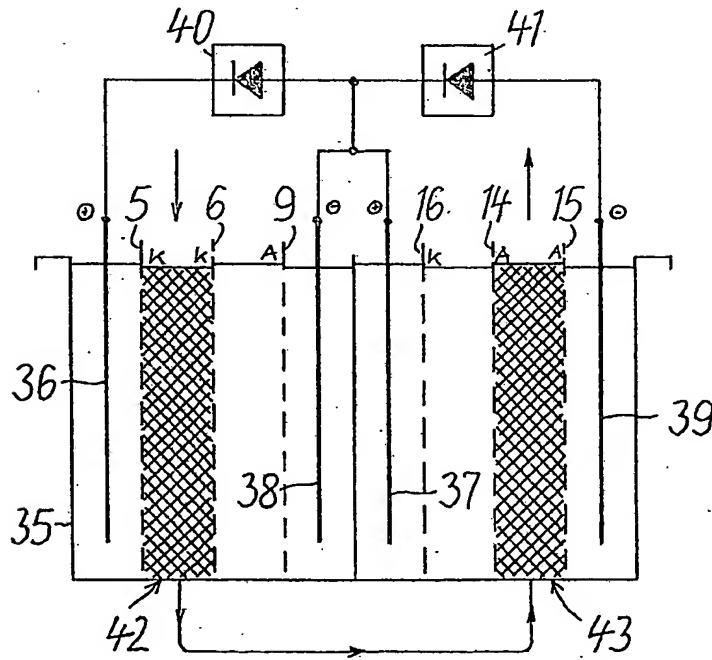
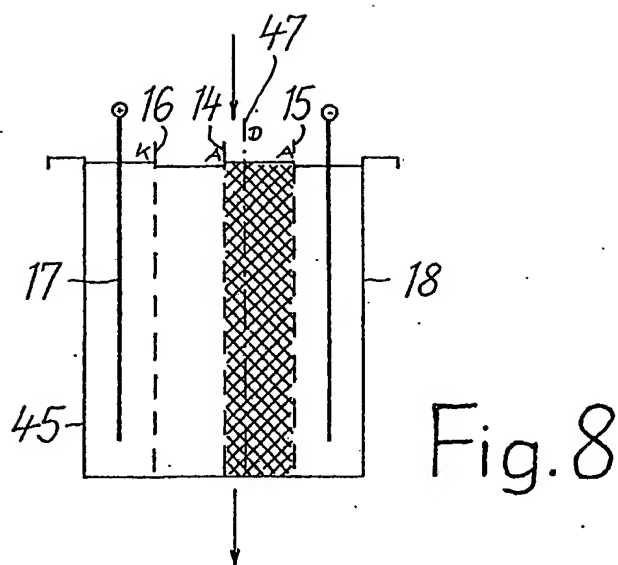
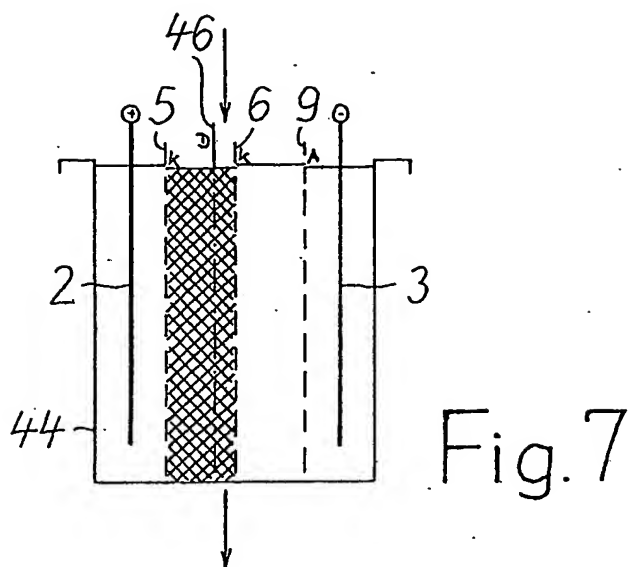


Fig. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.